

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-161041

(43)Date of publication of application : 20.06.1997

(51)Int.Cl.

G06T 1/00
G01N 23/04

(21)Application number : 07-317686

(71)Applicant : IWATE PREF GOV
TAYAMA NORIO

(22)Date of filing : 06.12.1995

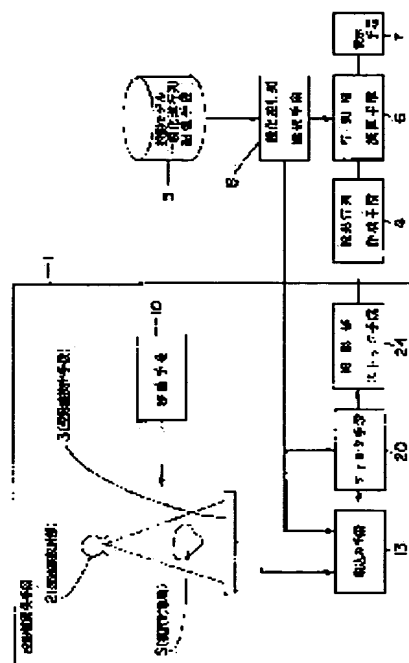
(72)Inventor : DAIBO MASAHIRO
MINAMIHABA TOMEIO
FUJISAWA MITSURU
KUMAGAI TAKAMI
HASEGAWA TATSUO
TAYAMA NORIO

(54) CT SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a satisfactory picture even when the picture is photographed in few projection directions by executing matrix product operation between a projection matrix and a generalized reverse matrix and using the operation result as data for picture display.

SOLUTION: An entering part in an entering means 13 stops a rotary motor at every prescribed rotational angle, detects the stop of the motor at a stop rotational angle, and at the time of detecting the stop, takes in a current projection value from a projection value detection part 3, and sends the projection value to a projection matrix preparing means 4 and a filter part in a filtering means 20 deletes a projection value unnecessary for calculation. The projection value is stored in a projection value storing means 24 at energy specified rotational angle of the motor. When projection values corresponding to a transmission route related to the projection model matrix of a generalized reverse matrix to be used for the operation of a matrix product computing means 6 are prepared, the means 4 prepares a projection matrix. Product operation between the projection matrix and the generalized reverse matrix is executed and its result is used for display data.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

06.12.1995

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 2936391

[Date of registration] 11.06.1999

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

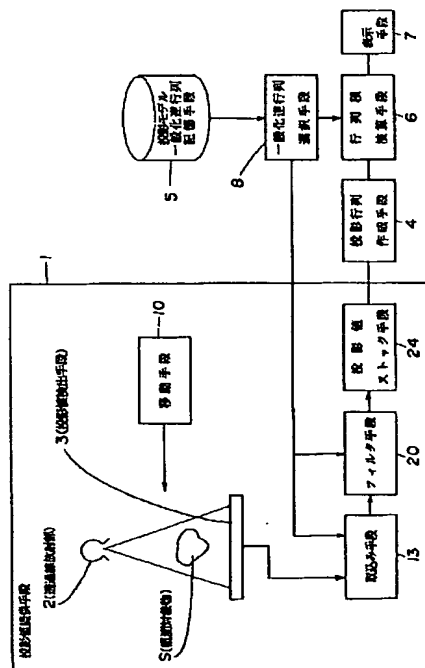
Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(11)特許出願公開番号

(43)公開日 平成9年(1997)6月20日

審査請求 有 請求項の数16 O.L (全 19 頁)

最終頁に続く



【特許請求の範囲】

【請求項1】 観測対象物を透過する電磁波、粒子線、超音波等の透過線を該観測対象物に対して放射する透過線放射部及び上記観測対象物を透過した透過線を検知して当該透過線に係る投影値を検出する投影値検出部を有するとともに、上記観測対象物に透過させる予め定めた複数の異なる透過経路における投影値を提供する投影値提供手段と、

上記投影値提供手段が提供した投影値と該投影値に対応する透過経路との関係を行列表示した投影行列を作成する投影行列作成手段と、

上記予め定めた複数の異なる透過経路と格子状に区切られた計算空間の夫々の画素が上記予め定めた透過経路を透過線が通ったときの投影値に及ぼす各画素毎の影響の度合いである影響係数との関係を行列表示した投影モデル行列を、特異値分解して予め算出した一般化逆行列を記憶する投影モデル一般化逆行列記憶手段と、

上記投影行列作成手段が作成した投影行列と上記投影モデル一般化逆行列記憶手段が記憶した一般化逆行列との行列積演算を行ない該演算結果を画像表示のためのデータとする行列積演算手段とを備えたことを特徴とするCT装置。

【請求項2】 上記投影行列作成手段が作成する投影行列及び投影モデル一般化逆行列記憶手段が記憶する一般化逆行列は、これらの行列要素のうち所定以下の数値の要素を間引した行列を含むことを特徴とする請求項1記載のCT装置。

【請求項3】 上記投影モデル一般化逆行列記憶手段を、選択可能な種類の異なる複数の一般化逆行列を記憶する機能を備えて構成し、該投影モデル一般化逆行列記憶手段に記憶された複数の一般化逆行列から所要の一般化逆行列を選択し上記行列積演算手段の演算に用いる一般化逆行列として提供する一般化逆行列選択手段を備えたことを特徴とする請求項1または2記載のCT装置。

【請求項4】 上記投影値提供手段を、上記観測対象物を上記透過線放射部及び投影値検出部に対して相対的に移動させる移動手段と、該移動手段によって上記観測対象物が上記行列積演算手段の演算に用いる一般化逆行列の投影モデル行列に係る透過経路に沿って透過線が透過される所定位置に移動させられたとき該所定位置の投影値を取込む取込み手段とを備えて構成したことを特徴とする請求項1、2または3記載のCT装置。

【請求項5】 上記投影値提供手段を、上記投影行列作成手段が作成する投影行列の投影値を上記行列積演算手段の演算に用いる一般化逆行列の投影モデル行列に表示された透過経路に対応する投影値のみに限定して取出すフィルタ手段を備えて構成したことを特徴とする請求項2、3または4記載のCT装置。

【請求項6】 上記投影値提供手段を、上記投影値検出部が時間的にずれて検出した投影値を投影行列作成時

で一時的にストックする投影値ストック手段を備えて構成したことを特徴とする請求項1、2、3、4または5記載のCT装置。

【請求項7】 上記取込み手段は、投影値の取込みタイミングを設定する取込みタイミング設定部と、該取込みタイミング設定部の設定したタイミングで投影値を取込む取込み部とを備えたことを特徴とする請求項4、5または6記載のCT装置。

【請求項8】 上記取込み手段は、上記種類の異なる複数の一般化逆行列に対応し上記取込みタイミング設定部が設定する取込みタイミングを記憶する取込みタイミング記憶部と、上記一般化逆行列選択手段が選択した一般化逆行列に対応した取込みタイミングを上記取込みタイミング記憶部から読出す取込みタイミング読出し部とを備えたことを特徴とする請求項7記載のCT装置。

【請求項9】 上記フィルタ手段は、上記種類の異なる複数の一般化逆行列に対応したフィルタ条件を記憶するフィルタ条件記憶部と、上記一般化逆行列選択手段が選択した一般化逆行列に対応したフィルタ条件を上記フィルタ条件記憶部から読出すフィルタ条件読出し部と、該フィルタ条件読出し部が読出したフィルタ条件に基づいて投影値の取出しを行なうフィルタ部とを備えたことを特徴とする請求項5、6、7または8記載のCT装置。

【請求項10】 上記移動手段を、観測対象物を保持する保持部と、該保持部を回転させて透過線に対する観測対象物の角度を変える回転モータとを備えて構成したことを特徴とする請求項4、5、6、7、8または9記載のCT装置。

【請求項11】 上記投影値提供手段において、透過線の透過経路を夫々異ならせた透過線放射部を複数列設し、上記移動手段を、上記観測対象物が上記各透過線放射部の透過線を順次通過するよう該観測対象物を搬送する搬送器を備えて構成したことを特徴とする請求項4、5、6、7、8または9記載のCT装置。

【請求項12】 上記投影値提供手段において、透過経路の角度が夫々異なる透過線束からなる扇状ビームを放射させる透過線放射部を複数列設し、上記移動手段を、上記観測対象物の所定部位が上記各透過線放射部における扇状ビームの角度が異なる透過線を順次通過するよう該観測対象物を上記透過線放射部に対して相対的に搬送する搬送器を備えて構成したことを特徴とする請求項4、5、6、7、8または9記載のCT装置。

【請求項13】 上記投影値提供手段において、上記透過線放射部に透過経路の角度が夫々異なる透過線束からなる扇状ビームを放射させ、上記移動手段を、上記観測対象物の所定部位が上記扇状ビームの角度が異なる透過線を順次通過するよう該観測対象物を上記透過線放射部に対して相対的に搬送する搬送器を備えて構成したことを特徴とする請求項4、5、6、7、8または9記載のCT装置。

【請求項14】 上記投影値提供手段において、上記透過線放射部を複数列設し、上記移動手段を、上記観測対象物の所定部位が上記各透過線放射部の透過線を順次通過しかつ該所定部位が上記各透過線放射部の透過線に対して夫々異なる角度になるよう該観測対象物をねじりながら移送させるねじり移送器を備えて構成したことを特徴とする請求項4、5、6、7、8または9記載のCT装置。

【請求項15】 上記移動手段を、観測対象物を保持する保持部を有し安定に静止する平面を連設した多角柱、多角体もしくはその部分体で構成され転動させられて上記の静止平面が変更可能なケースを備えて構成したことを特徴とする請求項4、5、6、7、8または9記載のCT装置。

【請求項16】 上記投影値提供手段の透過線放射部を上記観測対象物の所定部位の周囲に複数配置することにより構成したことを特徴とする請求項1、2または3記載のCT装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、観測対象物の内部を非破壊で観測するCT装置に係り、特に、例えば、機械、電子部品の内部不良、組立時の部品欠損、箱詰め梱包不良、ケーブルやワイヤー等の内部断線、プラスチック、粘体、金属等の連続押し出し加工品や鑄造工程のボイド欠陥、管中を移動する液体や粉体中の気泡や空洞などの不具合を生産ライン上で少数方向の投影値から連続的に高速検査するためのCT装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来のCT装置としては、例えば、X線を使用した装置で説明すると、X線源から観測対象物を透過するX線を観測対象物に対して放射し、観測対象物を回転機構によって回転させ、所定の回転角度毎にX線検知器によって観測対象物を透過した透過線を検知し、その検知結果をアナログデジタル変換して演算部により画像データに作成してCRT等の表示部に断面を表示するようにしている。このような従来の装置においては、一般に、医療用、産業用CT装置はFBP法(Filtered Back Projection)によるものがほとんどであり、1枚のCT像を計算する毎に膨大な計算をする必要があった。また、2次元フーリエ変換法によりCTを再構成する方式もあるが、アーティファクトが発生する問題があり商用機では採用されていない。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】ところで、このような従来のCT装置にあっては、以下のような問題があった。

① 従来の産業用CTは医療用のCT装置をもとにしたものがほとんどであり、不良の解析などの高画質を要求される用途には好都合であるが、測定ごとに膨大な計算

が必要であり特殊で高価な専用計算機を必要としていた。

② また、投影方向は数百方向も必用とし、角度1度程度あるいはそれ以下の間隔で投影をするため、何百方向からの投影データが必要であり、細かい角度設定ができる複雑で精密な回転機構を必要としていた。

③ 投影値のデータ量が大いため、投影データ数が膨大になり、データの取り込みや転送に時間を要し、計算時間も長く、動的な現象をとらえることができなかった。そのため、観測対象物の加工最中の実時間には、変形や動きが生じてしまい、内部観測ができなかった。

④ このように測定時間が長く、装置が高価で検査コストが高くなってしまったために、安価な製品を生産ライン上で連続的に検査することができなかった。

⑤ また、投影方向が多いために被爆量が多く、観測対象物に悪影響を与える場合もあった。

⑥ 更に、原子炉、海洋、宇宙、地中、燃焼等の投影方向がきわめて限定される特殊環境下では、少ない投影値からは画質の良いCT画像を得ることができなかった。

⑦ 更にまた、このように従来のCT装置は、多方向からの投影データが必要なことと、計算量が膨大なことが原因となって、検査コストがかかり過ぎ、機械部品や電子部品等の安価で大量に生産する製品の検査には不向きであった。また、特殊環境のCTにも不向きであった。

【0004】本発明は上記の問題点を鑑みて為されたもので、投影方向が少なくても良好な画像が得られ、高速で安価なCT装置を提供することを目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】このような目的を達成するため、本発明のCT装置は、観測対象物を透過する電磁波、粒子線、超音波等の透過線を該観測対象物に対して放射する透過線放射部及び上記観測対象物を透過した透過線を検知して当該透過線に係る投影値を検出する投影値検出部を有するとともに、上記観測対象物に透過させる予め定めた複数の異なる透過経路における投影値を提供する投影値提供手段と、上記投影値提供手段が提供した投影値と該投影値に対応する透過経路との関係を行列表示した投影行列を作成する投影行列作成手段と、上記予め定めた複数の異なる透過経路と格子状に区切られた計算空間の夫々の画素が上記予め定めた透過経路を透過線が通ったときの投影値に及ぼす各画素毎の影響の度合いである影響係数との関係を行列表示した投影モデル行列を、特異値分解して予め算出した一般化逆行列を記憶する投影モデル一般化逆行列記憶手段と、上記投影行列作成手段が作成した投影行列と上記投影モデル一般化逆行列記憶手段が記憶した一般化逆行列との行列積演算を行ない該演算結果を画像表示のためのデータとする行列積演算手段とを備えた構成としている。上記投影行列作成手段が作成する投影行列及び投影モデル一般化逆行列記憶手段が記憶する一般化逆行列は、必要に応じて、

これらの行列要素のうち所定以下の数値の要素を間引した行列を含む構成としている。

【0006】そして、必要に応じ、上記投影モデル一般化逆行列記憶手段を、選択可能な種類の異なる複数の一般化逆行列を記憶する機能を備えて構成し、該投影モデル一般化逆行列記憶手段に記憶された複数の一般化逆行列から所要の一般化逆行列を選択し上記行列積演算手段の演算に用いる一般化逆行列として提供する一般化逆行列選択手段を備えた構成としている。そしてまた、必要に応じ、上記投影値提供手段を、上記観測対象物を上記透過線放射部及び投影値検出部に対して相対的に移動させる移動手段と、該移動手段によって上記観測対象物が上記行列積演算手段の演算に用いる一般化逆行列の投影モデル行列に係る透過経路に沿って透過線が透過される所定位置に移動させられたとき該所定位置の投影値を取込む取込み手段とを備えて構成している。

【0007】また、必要に応じ、上記投影値提供手段を、上記投影行列作成手段が作成する投影行列の投影値を上記行列積演算手段の演算に用いる一般化逆行列の投影モデル行列に表示された透過経路に対応する投影値のみに限定して取出すフィルタ手段を備えて構成している。更に、必要に応じ、上記投影値提供手段を、上記投影値検出部が時間的にずれて検出した投影値を投影行列作成時まで一時的にストックする投影値ストック手段を備えて構成している。

【0008】そして、必要に応じ、上記取込み手段は、投影値の取込みタイミングを設定する取込みタイミング設定部と、該取込みタイミング設定部の設定したタイミングで投影値を取込む取込み部とを備えた構成としている。また、必要に応じ、上記取込み手段は、上記種類の異なる複数の一般化逆行列に対応し上記取込みタイミング設定手段が設定する取込みタイミングを記憶する取込みタイミング記憶部と、上記一般化逆行列選択手段が選択した一般化逆行列に対応した取込みタイミングを上記取込みタイミング記憶部から読出す取込みタイミング読出し部とを備えた構成としている。更に、必要に応じ、上記フィルタ手段は、上記種類の異なる複数の一般化逆行列に対応したフィルタ条件を記憶するフィルタ条件記憶部と、上記一般化逆行列選択手段が選択した一般化逆行列に対応したフィルタ条件を上記フィルタ条件記憶部から読出すフィルタ条件読出し部と、該フィルタ条件読出し部が読出したフィルタ条件に基づいて投影値の取出しを行なうフィルタ部とを備えた構成としている。

【0009】また、上記移動手段を、必要に応じ、以下の種々の構成にしている。

① 観測対象物を保持する保持部と、該保持部を回転させて透過線に対する観測対象物の角度を変える回転モータとを備えて構成している。

② 透過線の透過経路を夫々異ならせた透過線放射部を複数列設し、上記観測対象物が上記各透過線放射部の透

過線を順次通過するよう該観測対象物を搬送する搬送器を備えて構成している。

③ 透過経路の角度が夫々異なる透過線束からなる扇状ビームを同一に放射させる透過線放射部を複数列設し、上記観測対象物の所定部位が上記各透過線放射部における扇状ビームの角度が異なる透過線を順次通過するよう該観測対象物を上記透過線放射部に対して相対的に搬送する搬送器を備えて構成している。

④ 上記透過線放射部に透過経路の角度が夫々異なる透過線束からなる扇状ビームを放射させ、上記観測対象物の所定部位が上記扇状ビームの角度が異なる透過線を順次通過するよう該観測対象物を上記透過線放射部に対して相対的に搬送する搬送器を備えて構成している。

⑤ 上記透過線放射部を複数列設し、上記観測対象物の所定部位が上記各透過線放射部の透過線を順次通過しかつ該所定部位が上記各透過線放射部の透過線に対して夫々異なる角度になるよう該観測対象物をねじりながら移送させるねじり移送器を備えて構成している。

⑥ 上記観測対象物を保持する保持部を有し安定に静止する平面を連設した多角柱、多角体もしくはその部分体で構成され回転させられて上記の静止平面が変更可能なケースを備えて構成している。

また、必要に応じ、上記移動手段によらずに、上記投影値提供手段の透過線放射部を上記観測対象物の所定部位の周囲に複数配置することにより構成している。

【0010】

【発明の実施の形態】以下添付図面に基づいて、本発明の実施の形態に係るCT装置を説明する。図1及び図2は、第一の実施の形態に係るCT装置を示している。図1及び図2において、1は投影値提供手段であって、観測対象物Sを透過する電磁波、粒子線、超音波等の透過線を観測対象物Sに対して放射する透過線放射部2と、観測対象物Sを透過した透過線を検知して当該透過線に係る投影値を検出する投影値検出部3とを備え、観測対象物Sに透過させる予め定めた複数の異なる透過経路における投影値を提供するものである。本実施の形態としては、透過線放射部2は透過線としてX線を放射する。この透過線放射部2は、透過経路の角度が夫々異なる透過線束からなる扇状ビームを放射する扇状ビーム発生源で構成されている。半影をなくし微小な構造を観測するためには、焦点寸法が数ミクロンから10ミクロン程度のX線源を使用するとよい。X線源で発生したX線は、観測対象物Sを透過し、投影値検出部3で観測対象物Sの吸収や散乱に対応した投影値が得られる。投影値検出部3にはイメージ・インテンシファイヤとCCDカメラを組み合わせたものを使うと増幅率が高くノイズが小さいのでよい。

【0011】4は投影値提供手段1が提供した投影値と該投影値に対応する透過経路との関係を行列表示した投影行列を作成する投影行列作成手段である。5は投影モ

デル一般化逆行列記憶手段であって、予め定めた複数の異なる透過経路と、格子状に区切られた計算空間の夫々の画素が上記予め定めた透過経路を透過線が通ったときの投影値に及ぼす各画素毎の影響の度合いである影響係数とを行列表示した投影モデル行列を、特異値分解して予め算出した一般化逆行列を記憶するものである。

【0012】6は投影行列作成手段4が作成した投影行列と上記投影モデル一般化逆行列記憶手段5が記憶した一般化逆行列との行列積演算（行列掛算）を行ない該演算結果を画像表示のためのデータとする行列積演算手段である。行列積演算手段6の演算は、ソフトウェアによる計算でもよいが、行列の掛算だけであるので、簡単なハードウェアによって実現が可能であり、並列計算によって高速化が可能である。7は画像データに基づいた画像を表示するCRT等からなる表示手段である。

【0013】次に、上記投影モデル一般化逆行列記憶手段5が記憶する一般化逆行列及びこれを用いて画像データを演算する原理について図3乃至図6を用いて詳しく説明する。投影モデル一般化逆行列記憶手段5に蓄えておく一般化逆行列は次のようにして投影前にあらかじめ計算しておく。まず、図3に示すように、計算空間を格子状に区切り、それぞれの格子に標準化関数をおいた空間をつくる。計算空間は直交座標系でも極座標系でもよい。その空間を透過線放射部2と投影値検出部3の幾何学的な位置関係で決まる角度と間隔で通過する透過線群（ $a_1 \sim a_n$ ）を考え、それぞれの透過線に沿ってその空間の突入点から突出点までの範囲で各格子におかれた標準化関数の線積分を行い影響係数をうる。この線積分経路は、X線投影装置のX線源と投影値検出部3と観測対象物Sとの幾何学的な位置関係によってきまる透過線の透過経路と同じにする。

【0014】線積分は透過線の数だけ行う。たとえば64×64の格子の2次元の計算空間において、128本の透過線を4方向から投影する場合は64×64×128×4=2,097,152回、標準化関数を線積分する。ただし、実際には積分経路が標準化関数の最大値から遠いところにある標準化関数は、線積分結果が小さいので省略してもよい。また、積分経路の突入点または突出点が標準化関数の最大値から遠いところにある標準化関数は、最大値の座標に近い部分だけ線積分を行い、遠い部分は省略してもよい。更にまた、計算空間の格子と透過線の角度が小さいときは、冗長の透過経路があるので、これは省略してもよい。このようにすると計算量を削減できる。透過線の方法は、同じような角度から何本も投影するよりも、色々な角度から投影する方がよい。また、透過線の間隔は、扇状ビームの場合は進行するにつれて広がるので簡単ではないが、注目領域で格子間隔の0.5～1.4倍程度となるようにするとよい。

【0015】一本の透過線について、次のような1次方程式が成立する。左辺は項の数が格子の数だけあり、その項はある格子点にある標準化関数の線積分結果とその格子点の未知の濃度との積からなり、それぞれの項は加算されて右辺の投影値となる。それぞれの透過線について同様な方程式ができるので、これらの連立方程式を解いて未知の濃度値を求めればCT画像が構成できることになる。連立方程式を行列表現すると、各格子においた標準化関数の線積分結果からなる物体投影モデル行列と濃度値行列の積が投影値行列と等しくなる。そこで物体投影モデル行列の逆行列がもとめれば、連立方程式を解くことができる。図4に投影モデル行列を示す。

【0016】しかし、ここでこの連立方程式は、未知数の数（格子数）と方程式の数（透過線総本数）が一致せず、一方が多い場合も少ない場合もある。また一致した場合でも一意的な解がある保証はない。そこで、この連立方程式を解くために、誤差ベクトルを導入して、そのノルムの2乗和が最小になるように特異値分解によって物体投影モデル行列を分解して、その分解された行列から一般化逆行列を求める。具体的には、物体投影モデル行列Cを $C=U\Lambda V^t$ のように直交行列U、 V^t と特異値からなる対角行列 Λ の3つに特異値分解する。濃度値fは投影値Pから次のようにして計算できる。

$$f = V\Lambda^{-1} U^t P$$

一般化逆行列 $V\Lambda^{-1} U^t$ は、投影前にあらかじめ計算しておきルックアップテーブルとして投影モデル一般化逆行列記憶手段5に蓄えておく。

【0017】特異値の対角行列 Λ のゼロに近い要素の特異値は、 Λ^{-1} で逆数になるときわめて大きな値となってCT画像を悪化させるので、特異値が小さくなったら切り捨ててそれに対応する Λ^{-1} の要素を0とする操作をするといふ。特異値打ち切り値は、観測対象物Sの内部構造の複雑さや、ノイズで状況によってCT画像をみて決めるか、 Λ の要素の値が最大値から1～2桁小さくなるころを目安に打ち切るとよい。特異値打ち切り値は、大きい値を使うのが詳細な内部構造までわかるようになるが、大きくしすぎると急激にCT画像が劣化するので、劣化し始める直前の値を選択するとよい。このように投影条件に合致した一般化逆行列を準備しておけば、実測された投影値Pを乗算するだけでCT画像が求まる。

【0018】更に詳しく説明すると以下のようなになる。2次元濃度分布 $f(X, Y)$ は、標準化定理を満たす物体において、標準化関数 ϕ を用いて次のように表わすことができる（数式（1））。

【0019】

【数1】

$$f(X, Y) = \sum_{j=0}^u \sum_{i=0}^u f(X_i, Y_j) \cdot \phi(X - X_i) \cdot \phi(Y - Y_j) \quad (1)$$

【0020】ここでの計算空間は、図3に示すようになる。図において、

$u \times u$: 格子数 (標本点総数)

T : ピクセルの大きさ (標本化間隔)

$X_i = i \cdot T$

$Y_j = j \cdot T$

$\phi(t) = \sin(2\pi W_m t) / 2\pi W_m t \cdots (2)$: 標本化関数

$W_m = 1/T$: 遮断空間周波数

投影値は以下になる (数式 (3))。

【数2】

【0021】

$$P = \int_0^L f(X, Y) dL \quad (3)$$

【0022】 L は計算空間を通過する長さである。そして、透過線ごとに一次方程式ができるので、以下の数式が得られる (数式 (4))。

【0023】

【数3】

$$P_m = \sum_{n=1}^N C_{mn} \cdot f_n + e_m \quad (4)$$

【0024】この式において、

$N = u \times u$: 標本点総数

P_m は m 番目の投影値を示す。 e_m は m 番目の投影値に関する誤差であり、これの2乗和が最小になるようにする。

【0025】行列表現すると

$P = C f + e \cdots (5)$

C を特異値分解すると

$C = U \Lambda V^t \cdots (6)$

この式において、

U, V^t : 直交行列

Λ : 対角行列

【0026】

$\|e\|^2 = \|\Lambda V^t f - U^t P\|^2 \cdots (7)$

$\|e\|^2$ が最小になるのは

$\Lambda V^t f = U^t P \cdots (8)$

$f = V \Lambda^{-1} U^t P \cdots (9)$

C がランク落ちしている時に

$f = V \Lambda^+ U^t P \cdots (10)$

【0027】ここで、 Λ^+ は Λ の対角要素 λ_n の逆数 λ_n^{-1}

から成るが、 λ_n の値が小さ過ぎる場合に λ_n^{-1} の有効性がなくなるので、その λ_n^{-1} の値をゼロとした対角行列である。このように大きい順に並んだ λ_n の何番目までの λ_n を使用して Λ^+ をつくるかを決めるのが特異値打ち切り値である。

【0028】 $C^+ = V \Lambda^+ U^t \cdots (11)$

(11) 式は定数なので投影の前にあらかじめ計算しておく事が可能である。

$f = C^+ P \cdots (12)$

行列の1回のかけ算だけで CT 画像が再構成できる。

【0029】上記投影行列作成手段4が作成する投影行列及び投影モデル一般化逆行列記憶手段5が記憶する一般化逆行列は、これらの行列要素のうち所定以下の数値の要素を間引いた行列を含む。即ち、一般化逆行列の多くのデータは、値がゼロに近い数値であるので、積算しても意味がない。従って、上記の式 (12) を具体的に表示すると、下記ようになる。

【0030】

【数4】

$$\begin{array}{|c|} \hline f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ \vdots \\ f_n \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{画素数} \\ N \\ \hline \end{array} \cdot \begin{array}{|c|} \hline \text{投影総本数} \\ M \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline C_{11}^+, C_{12}^+, \dots, C_{1m}^+ \\ \vdots \\ C_{n1}^+, C_{n2}^+, \dots, C_{nm}^+ \\ \hline \end{array} \cdot \begin{array}{|c|} \hline P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ \vdots \\ P_m \\ \hline \end{array} \quad (13)$$

画素の濃度

【0031】のようになり、即ち、下記の式になる。

$$f_1 = C_{11}^+ \cdot P_1 + C_{12}^+ \cdot P_2 + \dots + C_{1n}^+ \cdot P_n \dots (14)$$

【0032】

【数5】

$$f_n = \sum_{m=1}^M C_{nm}^+ \cdot P_m \quad \text{—————} (15)$$

【0033】この数式(15)において、 C_{nm}^+ の値が大きい(ゼロに近くない)ところに対応する P_n だけを使うようにするものである。そして、画素毎(f_n 毎)にどの P_n を使えば良いかを予め求めておき、これを、投影モデル一般化逆行列記憶手段5に記憶させておく。

$$f_1 = C_{13}^+ \cdot P_3 + C_{14}^+ \cdot P_4 + C_{18}^+ \cdot P_8 + C_{19}^+ \cdot P_9 \dots (16)$$

$$f_2 = C_{22}^+ \cdot P_2 + C_{23}^+ \cdot P_3 + C_{26}^+ \cdot P_6 + C_{28}^+ \cdot P_8 \dots (17)$$

となり、飛び飛びの演算となる。

【0035】また、投影モデル一般化逆行列記憶手段5は、選択可能な種類の異なる複数の一般化逆行列を記憶する機能を備えて構成されている。即ち、投影モデル一般化逆行列記憶手段5には、図6に示すように、CT画像、投影方向、投影間隔、特異値の打ち切り値、投影値フィルター条件の組み合わせからなる色々な一般化逆行列を記憶させておき、投影条件に対応した一般化逆行列を行列積演算手段6に受け渡すことができるようになる。

【0036】8は一般化逆行列選択手段であって、投影モデル一般化逆行列記憶手段5に記憶された複数の一般化逆行列から所要の一般化逆行列を選択し上記行列積演算手段6の演算に用いる一般化逆行列として提供するものである。この選択は、例えば、選択スイッチボタンを設けて、このボタンを押釦することにより実現される。この選択は、以下の基準によって行なう。CT画素数は、検出部の空間分解能で上限が決定される。例えば512個の検出器のアレイがあれば、観測空間が45度になったときでも全体を包含するためには、 $512/\sqrt{2} \approx 362$ であるから 362×362 の画素数になる。透過経路は、透過線源と検出部と観測対象物Sの幾何学的位置関係で決定されるので、その条件と全く一致するように一般化逆行列を選択する。

【0037】次に、投影値提供手段1について詳しく説明する。投影値提供手段1において、10は観測対象物Sを透過線放射部2及び投影値検出部3に対して相対的に移動させる移動手段である。移動手段10は、図7に示すように、観測対象物Sを保持する保持部11と、この保持部11を回転させて透過線に対する観測対象物Sの角度を変えるステッピングモータからなる回転モータ12とを備えて構成されている。保持部11は、回転モータ12の軸に直接、あるいは歯車等によって減速した回転軸に固定される。保持部11は、観測対象物Sの透過に悪影響を与えないように、X線透過率が高い樹脂等を用いると良い。また、保持部11は、片持ちでなく、

一方、投影行列作成手段4が作成する投影行列も、後述のように、この一般化逆行列に対応させるようにする。一般化逆行列のうち、値が大きい要素と、それに対応した投影値の積の総和(積算)が画素の濃度となる。

【0034】例えば、

両方からはさみこむように構成すると、回転軸に小片で固定できるので保持部11が投影を邪魔する部分が少なくなり、回転ぶれも少なくなる。

【0038】図1及び図2に戻り、13は移動手段10によって観測対象物Sが上記行列積演算手段6の演算に用いる一般化逆行列の投影モデル行列に係る透過経路に沿って透過線が透過される所定位置に移動させられたとき該所定位置の投影値を取込み取込み手段である。この、取込み手段13は、投影値の取込みタイミングを設定する取込みタイミング設定部14と、取込みタイミング設定部14の設定したタイミングで投影値を取込む取込み部15と、上記種類の異なる複数の一般化逆行列に対応し取込みタイミング設定部14が設定する取込みタイミングを記憶するタイミング記憶部16と、上記一般化逆行列選択手段8が選択した一般化逆行列に対応した取込みタイミングを上記タイミング記憶部16から読出す取込みタイミング読出し部17とを備え、選択した一般化逆行列に対応して、所要の機能をする。

【0039】取込みタイミングは、回転モータ12の回転角度で規定され、例えば、4方向投影の場合には回転モータ12の45度ずつの回転角度に規定される。この回転角度は、種類の異なる一般化逆行列に対応して種々に定められている。そして、取込み手段13は、例えば、回転モータ12の回転角度を検知し、この検知に基づいて行列積演算手段6の演算に用いる一般化逆行列の投影モデル行列に係る透過経路に沿って透過線が透過される位置に観測対象物Sを相対的に位置決めするように上記の回転モータ12の停止及び始動の制御を行ない、回転モータ12の停止時に、投影値検出部3からこのときの投影値を投影行列作成手段4がわに送出させる。

【0040】即ち、一般化逆行列を計算した時の透過線経路と、実測の場合の透過線の経路が全く一致するような角度に、観測対象物Sと透過線の相対的な角度を回転させる。具体的には、次のようにする。平行透過線の場合には、ある投影角度のとき、各々の透過線は同一の角度を持つ。透過線の角度が同一の透過線の束が投影方向

毎にあると扱うことができるので、回転角度は、透過線の束と観測空間のなす角度が、一般化逆行列を計算した時の透過線経路と一致するように投影方向毎に設定すればよい。一方、扇形に広がる透過線の場合には、一方向から投影した場合でも、各々の透過線は広がるので様々な角度で観測対象物Sを透過する。観測対象物Sとの透過線源との距離が変わると、透過線の経路も変化する。そのため、透過線束を代表する透過線と、各々の透過線とのなす角度または角度間隔と、観測対象物Sと透過線源との距離を決めた条件で、代表する一本の透過線の角度を透過線束の角度として、これが投影方向毎にあるとして扱う。回転角度は、上記条件を満たした上で、透過線の束と観測空間のなす角度が、一般化逆行列を計算した時の透過線経路と一致するように投影方向毎に設定する。

【0041】また、投影値提供手段1において、20はフィルタ手段であって、投影行列作成手段4が作成する投影行列の投影値を行列積演算手段6の演算に用いる一般化逆行列の投影モデル行列に表示された透過線路に対応する投影値のみに限定して取出すものである。このフィルタ手段20は、上記種類の異なる複数の一般化逆行列に対応したフィルタ条件を記憶するフィルタ条件記憶部21と、上記一般化逆行列選択手段8が選択した一般化逆行列に対応したフィルタ条件をフィルタ条件記憶部21から読出すフィルタ条件読出し部22と、フィルタ条件読出し部22が読出したフィルタ条件に基づいて投影値の取出しを行なうフィルタ部23とを備え、選択した一般化逆行列に対応して、所要の機能をする。例えば、投影モデル一般化逆行列記憶手段5が記憶する一般化逆行列が、行列要素のうち所定以下の数値の要素を間引いた行列である場合には、フィルタ条件記憶部21には、この一般化逆行列の間引く要素のアドレス情報をフィルタ条件として記憶させておく。これは、上述したように、一般化逆行列の多くのデータの値がゼロに近い数値であることに鑑みて行なうものである。

【0042】即ち、フィルタ部23は、CCDカメラからのビデオ信号をサンプリングし、アナログデジタル変換してコンピュータに取り込み、フィルタ条件記憶部21に記憶させておいた投影値フィルター条件によって、必要なピクセル部のデータを選択することで容易に実現できる。このように、投影値の全てを使用せず、必要な部分だけを取り出すことにより、演算量を減少させて、演算スピードを速めることが可能になる。

【0043】また、以下の場合も考慮して行列要素の間引を行なっている。例えば、観測対象物Sが最初の状態から45度の角度になるときは、透過する透過線の本数が最大になるが、0度や90度のように格子に平行に近づくにつれて必要となる透過線本数は減少するので、投影角度に応じて冗長の透過線は使用しないようにする。図8はフィルター条件に係る説明図である。図8(a)は

観測対象物Sの角度が0度の時の状態を示し、図8

(b)は角度が45度の時の状態を示す。観測対象物S全体を透過線が透過するためには、あきらかに0度の時の方が必用となる透過線の本数が少なくすむ。0度の時は端部の投影値は計算に不必要であるので、この分を使用しないことにより計算が高速化できる。上記の投影モデル行列を計算するときに、これを考慮してモデルから削除し、実測した投影値からも不要投影値を削除するようにしているのである。

【0044】更にまた、フィルタ手段20は、投影値の周波数が計算空間よりも高すぎる時には、移動平均等により低域通過フィルタ処理をするローパスフィルタ等のフィルタ(図示せず)を備えている。即ち、投影値の周波数が高いときは、投影値を移動平均等の処理をして高周波成分を除去するフィルタリングすると、高速に低ノイズのCT像を得ることができる。投影値が階段状になった場合には、計算空間にサンプリング時の仮定よりも空間周波数が高い構造がある場合がある。この場合は、高周波成分がCT画像に悪影響を与えるので、投影値に低域通過フィルタ処理を施して投影値を滑らかするのである。フィルタは、移動平均によって実現できる。

【0045】更に、図1に示すように、24は投影値検出部3が時間的にずれて検出した投影値を投影行列作成時まで一時的にストックする投影値ストック手段であり、行列積演算手段6の演算に用いる一般化逆行列の投影モデル行列に係る透過線路に対応する投影値が揃うまでデータを蓄積する。投影値ストック手段24は、時間的にずれて測定された色々な角度からの投影値を順番に並べて、一つの投影値とするように働く。尚、上記投影行列作成手段4、投影モデル一般化逆行列記憶手段5、行列積演算手段6、一般化逆行列選択手段8の機能及び投影値提供手段1の一部の機能等は、コンピュータの機能によって実現される。

【0046】従って、この第一の実施の形態に係るCT装置によれば、以下のように作動する。図9に示すフローチャートを用いて説明すると、以下ようになる。先ず、図5に示すように、予め一般化逆行列を計算しておく、投影モデル一般化逆行列記憶手段5に記憶させておく。そして、使用するときには、一般化逆行列選択手段8により投影モデル一般化逆行列記憶手段5から対応する一般化逆行列を選択する(9-1)。これにより、投影値提供手段1において、取込みタイミング読出し部17によって取込みタイミング記憶部16から上記選択された一般化逆行列に対応する取込みタイミングが読出され取込みタイミング設定部14に設定される。また、フィルタ条件読出し部22によってフィルタ条件記憶部21から上記選択された一般化逆行列に対応するフィルタ条件が読出され選択される。

【0047】また、移動手段10によって回転モータ12が回転させられ、保持部11に保持された観測対象物

Sが回転させられる(9-2)。そして、取込み手段13の取込み部15によって、所定の回転角度毎に回転モータ12を停止させるとともに(9-3、9-4)、回転モータ12の停止回転角度における停止を検知して、当該検知があったとき投影値検出部3からこのときの投影値を取込み、投影行列作成手段4がわに送出する(9-5)。

【0048】この送出されたデータにおいては、フィルタ手段20のフィルタ部23によって計算に不必要な投影値が削除される(9-6)。そのため、それだけ、計算が高速化される。そして、所要のデータが揃うまで、即ち、上記の回転モータ12の回転角度毎に投影値が投影値ストック手段24にストックされる(9-7、9-8)。所要の投影値が提供されると、即ち、行列積演算手段6の演算に用いる一般化逆行列の投影モデル行列に係る透過経路に対応する投影値が揃うと、投影行列作成手段4によって、投影行列が作成される(9-9)。

【0049】その後、図5にも示すように、行列積演算手段6により、投影行列作成手段4が作成した投影行列と投影モデル一般化逆行列記憶手段5が記憶し一般化逆行列選択手段8が選択した一般化逆行列との積演算が行なわれる(9-10)。そして、演算結果が画像表示のためのデータとして送出され、表示手段7に当該検出部位での投影画像が表示される(9-11)。この場合、図5に示すように、一般化逆行列までは、X線を投影する前に計算しておくことができ、残りの計算は掛け算1回だけなので、高速化が図られる。また、投影値は数方向からのデータで良いことから、この点でも高速化が図られるとともに、観測対象物Sの移動手段10である回転機構が簡単化される。

【0050】次に、本発明の第二の実施の形態に係るCT装置について説明する。このCT装置は、図10(a)(b)に示すように、上記第一の実施の形態と略同様に構成されるが、第一の実施の形態とは、投影値提供手段1の構成が異なっている。まず、透過線の透過経路を夫々異ならせた透過線放射部2を複数列設してある。移動手段10は、観測対象物Sの所定部位が上記各透過線放射部2の透過線を順次通過するよう該観測対象物Sを搬送する搬送器としてのベルトコンベア30を備えて構成されている。各透過線放射部2はベルトコンベア30の進行方向を軸とする円周上に配置されている。この例では3方向から投影する。

【0051】取込み手段13は、ベルトコンベア30で搬送される観測対象物Sの所定位置を検出する磁気センサや光電センサ、近接スイッチ等の位置検出部31と、位置検出部31の検出があったとき、ベルトコンベア30を一時的に停止させる停止機能とを備えている。例えば、観測対象物Sの前端のエッジSaを検出して、停止させる。また、取込み手段13の取込みタイミングは、上記のベルトコンベア30の停止を検知したときであ

り、当該検知があったとき、投影値検出部3からこのときの投影値を取込み、投影行列作成手段4に送出する。図10(a)中32はアナログデジタル変換器、33はストック手段としての遅延機構である。

【0052】従って、この第二の実施の形態に係るCT装置によれば、観測対象物Sは、ベルトコンベア30によって搬送される。この場合、観測対象物Sを等間隔かつ姿勢を同一にしてベルトコンベア30に位置決めすることが望ましい。この観測対象物Sが位置検出部31によって検出されると、ベルトコンベア30が停止されて同期して投影される。ベルトコンベア30が停止すると、ある角度での投影値が送出される。その投影値は遅延機構33で次のベルトコンベア30の停止まで記憶される。撮影する検出部のあとに、最後の投影角度までの回数分だけ遅延機構33を設けて、時間差がある各角度毎の投影データのタイミングをそろえる。投影データをアナログデジタル変換した後に、そのデータをフリップフロップ等で位置検出部31からの信号をゲート信号として収集することによって遅延機構33は簡単に実現できる。遅延機構33によってタイミングを揃えた、夫々の角度の投影値は、投影行列作成手段4によって処理され、一断面の投影行列が作成される。後の処理は、上記の場合と同様である。このようにパイプライン構成することによって、スピードを低下させることなく生産ライン上での製品の内部検査が可能となる。

【0053】次に、本発明の第三の実施の形態に係るCT装置について説明する。このCT装置は、図06に示すように、上記第一の実施の形態と略同様に構成されるが、第一の実施の形態とは、投影値提供手段1の構成が異なっている。まず、透過線の角度が夫々異なる透過線束からなる扇状ビームを同一に放射させる透過線放射部2を複数(図では3台)列設してある。移動手段10は、上記観測対象物Sの所定部位が上記各透過線放射部2における扇状ビームの角度が異なる透過線を順次通過するよう該観測対象物Sを上記透過線放射部2に対して相対的に搬送する搬送器(図示せず)を備えて構成されている。

【0054】取込み手段13は、搬送器で搬送される観測対象物Sの所定位置を検出する磁気センサや光電センサ、近接スイッチ等の位置検出部(図示せず)と、位置検出部の検出があったとき、行列積演算手段6の演算に用いる一般化逆行列の投影モデル行列に係る透過経路に沿って透過線が透過される位置に観測対象物Sを相対的に位置決めするように搬送器を一時的に停止させる停止機能とを備えている。例えば、観測対象物Sの前端のエッジを検出して、最初の透過線放射部2に対しては観測対象物Sの前端部(図11(a))、2番目の透過線放射部2に対しては中央部(図11(b))、最後の透過線放射部2に対しては後端部(図11(c))に透過線が通過する位置で夫々停止させる。取込み手段13の取

込みタイミングは、搬送器の停止を検知して、当該検知があったときであり、投影値検出部3からこのときの投影値を取込んで、投影行列作成手段に送出する。

【0055】従って、この第三の実施の形態に係るCT装置によれば、観測対象物Sは、搬送器によって搬送され、所定の場所に位置させられて投影される。この例では3方向から投影される。まず、右側から観測対象物Sを搬送器で搬送し、先ず透過線源の右側の透過線によって投影する。次に透過線源の中央で投影し、最後に透過線源の左側の透過線で投影する。このようにすると、段階的に右から左方向に投影が行われる。この場合、搬送器の移動と投影のタイミングは、第二の実施の形態に係るCT装置と同様の遅延機構で同期をとる。ビームの広がり角度が大きいビーム源を使用すると左右45度程度からの投影が可能である。ただし横方向からの投影はできないので、対象物としては電子基板などの平面状のものが好適である。このCT装置においては、夫々のビーム源の間隔よりも、観測対象物Sを搬送器に乗せる間隔を狭くした方が、単位時間内に観測できる観測対象物Sの個数が多くなるので都合がよい。このような方法で投影を行えば、試料の回転装置が不要で、ビーム源を斜めに配置することもないので、装置が簡単で、コンパクトな装置となる。

【0056】次に、本発明の第四の実施の形態に係るCT装置について説明する。このCT装置は、第三の実施の形態に係るCT装置と原理が同じなので、同じ図11を用いて説明する。第三の実施の形態と異なる点は、先ず、1つの透過線放射部2に透過経路の角度が夫々異なる透過線束からなる扇状ビームを放射させる。そして、移動手段10が、観測対象物Sの所定部位が上記扇状ビームの角度が異なる透過線を順次通過するよう該観測対象物Sを上記透過線放射部2に対して相対的に搬送する搬送器を備えて構成されている点である。即ち、ビーム源の右斜め、中央、左斜めのビームを利用して1つのビーム源で検出を可能にしたものである。このようにするとさらにコストを削減できる。ただし、扇状にビームが広がる線源の場合は、倍率を変更するために線源と検出器の距離を変えると、透過するビームの角度も間隔も変わるので、使用する倍率毎に一般化逆行列を用意して切り替えることが必用である。この場合には倍率毎に最適の一般化逆行列を記憶装置に蓄えておけばよい。

【0057】次に、本発明の第五の実施の形態に係るCT装置について説明する。このCT装置は、図12に示すように、上記第一の実施の形態と略同様に構成されるが、第一の実施の形態とは、投影値提供手段1の構成が異なっている。先ず、複数の透過線放射部2を各透過線放射部2の透過線の放射角度が同一になるよう等間隔で列設してある。移動手段10は、観測対象物Sの所定部位が各透過線放射部2の透過線を順次通過しかつ該所定

部位が上記各透過線放射部2の透過線に対して夫々異なる角度になるよう該観測対象物Sをねじりながら移送させるねじり移送器40を備えて構成されている。ねじり移送器40は、観測対象物Sを挟持しながら搬送する一対のローラ41の組を2組備え、各ローラ41の組の軸線の方角を変えて設置したものである。

【0058】取込み手段13はローラ41の回転速度を制御する。また、取込み手段13の取込みタイミングは、観測対象物Sの所定部位が透過線放射部2の放射位置に位置させられたときであり、投影値検出部3からこのときの投影値を取込んで、投影行列作成手段に送出させる。従って、この本発明の第五の実施の形態に係るCT装置によれば、前後のローラ41の組間で観測対象物Sがねじられ、連続的に角度が変化する。このねじれた部分に透過線が透過させられ、ローラ41の回転速度と投影のタイミングを合わせることによって、同一断面の投影値の検出が行なわれる。

【0059】図13には、上記第五の実施の形態に係るCT装置と原理を同じにする本発明の第六の実施の形態に係るCT装置が示されている。これは、ロープやケーブル状の観測対象物Sに適用され、透過線の投影領域の前に、斜めに溝を刻むか、ローラをならべたねじれ治具42を配置し、この治具42を通る観測対象物Sがねじれるようにして、投影領域の後にはそのねじれが戻らないようにするもどり防止治具43を置いたものである。この実施の形態によってもねじれの部分を観測対象物Sの送り速度と同期して観測することによって、同一断面の観測が可能となる。以上のような第五及び第六の実施の形態に係るCT装置による検出が可能な観測対象物Sは、ねじっても観測対象物Sに悪影響を与えないものでなければならないことがもちろんであり、電子部品がテープに収納されたTBA部品などには最適である。

【0060】次に、本発明の第七の実施の形態に係るCT装置について説明する。このCT装置は、図14に示すように、上記第一の実施の形態と略同様に構成されるが、第一の実施の形態とは、投影値提供手段1の移動手段10及び取込み手段13の構成が異なっている。移動手段10は、観測対象物Sを保持する保持部51を有し安定に静止する平面50aを連結した多角柱、多角体もしくはその部分体で構成され回転させられて上記の静止平面50aが変更可能なケース50を備えて構成されている。図14に示すケース50は六角筒状に形成され、内部にバネ等を利用した保持部51を有している。また、ケース50の1平面50aを支持するガイド52が列設されており、ケース50は回転させられてガイド52に順に保持される。また、ケース50を回転させる駆動機構(図示せず)が設けられている。また、透過線放射部(図示せず)はガイド52毎に設けられている。ケース50はビームを十分に透過させるものでなければならないので、金属は不適当であり、プラスチック、ゴム

などの材質を使用するとよい。

【0061】取込み手段13は、駆動機構を制御してケース50を定時に転動させる。取込み手段13は、ガイド52にケース50が至ったことを検知して当該検知があったとき、投影値検出部からこのときの投影値を取込み、投影行列作成手段に送出させる。従って、この第七の実施の形態に係るCT装置によれば、1転動毎に投影値が検出され、この検出はケース50の1角度分異なる透過線について行なわれる。この場合、ケース50の角度が一定なので回転角度が正確で、移動手段10を大幅に単純化できる。従来のCTのように、ステッピングモータを正確に制御する必要がなくなる。更に、複数のケース50を規則正しく整列させることによって一括検査が可能であり、高速化が可能になる。

【0062】尚、上記実施の形態においては、取込み手段13は、一般化逆行列選択手段8が選択した行列積演算手段6の演算に用いる一般化逆行列の投影モデル行列に係る透過経路を読み取って、当該透過線が透過される位置に観測対象物Sを相対的に位置決めするように移動手段10を制御するよう構成しても良く、適宜変更して差し支えない。また、上記実施の形態においては、透過線をX線としたが、必ずしもこれに限定されるものではなく、例えば、放射線、磁力線、光、超音波、マイクロ波等でもよく、直線的に進行しない場合でもその経路が予測できるものであればよい。要するに、観測対象物Sを透過する電磁波、粒子線、超音波等の透過線であればどのようなものであっても良い。また、投影値検出部3もビームの種類に対応して透過したビームをS/N比よく検出できればよい。

【0063】尚また、ビームの干渉または投影値検出部3間の干渉がなければ、複数のビーム源と投影値検出部3を同一平面上に配置し、同時に観測をすると、内部が時間的に変化する観測対象物Sの瞬間現象をとらえることができ非常に効果的である。このようにすると、加工最中の内部状態を検査することもできるようになる。また、投影値提供手段1を3次元CTに拡張できることはもちろんである。この場合は、3次元の投影モデル行列を計算するだけで、逆行列の計算方法は全く同一である。

【0064】

【発明の効果】以上説明したように、本発明のCT装置によれば次のような効果がある。

① モデル化によってCTに必要な計算のほとんどをあらかじめ計算しておけるので、投影後、短時間でCT像を得ることができる。即ち、投影する角度や間隔から投影モデル行列を求め、それを特異値分解法によって3つの行列に分解し、その分解された3つの行列を元に求められた一般化逆行列はあらかじめ計算しておいて、記憶手段に記憶させておくことができるので、CT像を計算するときは、投影値と記憶しておいた一般化逆行列の掛

け算を実行するだけで良く、残りの計算は掛け算1回だけであるので処理を高速化できる。そのため、本発明のCT装置は、CT画像を得るための計算のほとんどを前もって計算しておくことができるので、実際にCT画像が必要な時は、残りのわずかな計算をするだけでよい。このため高速化が可能であり、計算方式のハードウェア化が容易にでき、装置を超高速処理が可能でしかも安価することができる。また、投影値のデータ量が少なくても良く、データの取り込みや転送に時間を要しないので、この点でも高速化を図ることができる。

【0065】② また、従来のCT装置は、精密な回転装置が必要としていたが、本発明のCT装置では数方向の投影値の検出で良いので、移動手段を、ベルトコンベア上で、斜めから投影したり、観測対象物を多角形の治具に固定して転がす方法、あるいは対象物をねじる事による等、極めて簡易な機構にすることができる。

③ 投影値のデータ量が少なくても良く、高速CTが実現できるので、加工最中の過渡的な検査や、動的な内部検査が可能となる。

④ また、このように測定時間が短くなり、装置が安価で検査コストが安くなることから、安価な製品を生産ライン上で連続的に検査することを容易に行なうことができる。特に、機械部品や電子部品等の安価で大量に生産する製品の検査に利用できるという効果がある。

⑤ また、投影方向が少ないことから被爆量が少なく、観測対象物に悪影響を与える事態が防止される。

⑥ 更に、原子炉、海洋、宇宙、地中、燃焼等の投影方向がきわめて限定される特殊環境下でも、少ない投影値から画質の良いCT画像を得ることができ、大幅に汎用性が向上する。

⑦ 高速検査が可能なのでスループットがあがる。

⑧ 全数検査が可能となるので不良製品を市場に出す確立が大幅に減る。
等種々の効果を奏する。

【0066】そして、投影行列作成手段が作成する投影行列及び投影モデル一般化逆行列記憶手段が記憶する一般化逆行列が、これらの行列要素のうち所定以下の数値の要素を間引した行列を含む場合には、一般化逆行列の多くのデータが有する値がゼロに近い数値の行列要素については積算演算をしなくても良くなるので、それだけ、積算演算量を減少させて、演算スピードを速めることが可能になる。また、投影モデル記憶手段に選択可能な種類の異なる複数の一般化逆行列を記憶する機能を備えて構成した場合には、種々の観測対象物に対応することができ、汎用性が向上させられる。更に、移動手段及び取込み手段を備えた場合には、投影を自動的行なうことができ、そのため、より一層効率の良い検出を行なうことができる。

【0067】更にまた、フィルタ手段を備えた場合には、計算に不必要な投影値を取り除くことができるの

で、それだけ、計算を高速化でき、より一層処理効率を向上させることができる。また、取込みタイミングを設定するようにした場合には、無駄な投影値の取込みをしなくても良くなり、それだけ、処理効率を向上させることができる。そして、選択された一般化逆行列に対応させて取込みタイミングを設定する場合には、種々の一般化逆行列に合わせることができ、汎用性が増す。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第一の実施の形態に係るCT装置を示す構成図である。

【図2】本発明の第一の実施の形態に係るCT装置の要部を示す構成図である。

【図3】影響係数を求めるための計算空間と透過線との関係を示す図である。

【図4】投影モデル行列を示す図である。

【図5】本発明の演算原理を示す図である。

【図6】本発明の実施の形態に係るCT装置の投影モデル記憶手段の記憶内容を示す図である。

【図7】本発明の第一の実施の形態に係るCT装置を示す要部図である。

【図8】不要投影値の発生状態を示す図である。

【図9】本発明の第一の実施の形態に係るCT装置の作用を示すフローチャート図である。

【図10】本発明の第二の実施の形態に係るCT装置を示す要部図(a)及び要部図(a)のA視正面図である。

【図11】本発明の第三及び第四の実施の形態に係るCT装置を示す要部図である。

【図12】本発明の第五の実施の形態に係るCT装置を示す要部図である。

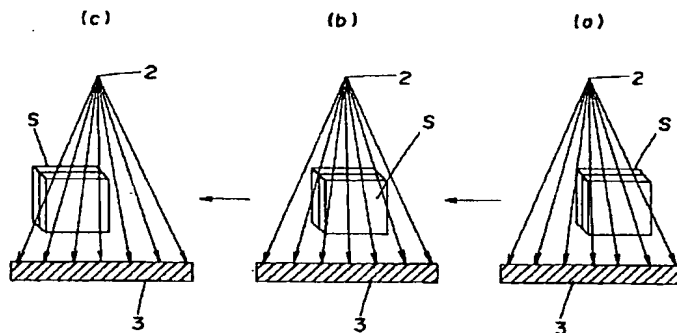
【図13】本発明の第六の実施の形態に係るCT装置を示す要部図である。

【図14】本発明の第七の実施の形態に係るCT装置を示す要部図である。

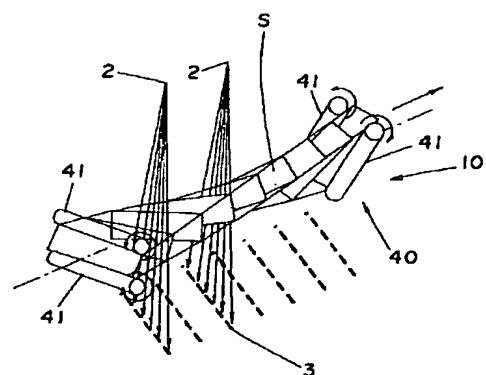
【符号の説明】

- S 観測対象物
- 1 投影値提供手段
- 2 透過線放射部
- 3 投影値検出部
- 4 投影行列作成手段
- 5 投影モデル一般化逆行列記憶手段
- 6 行列積演算手段
- 7 表示手段
- 8 一般化逆行列選択手段
- 10 移動手段
- 11 保持部
- 12 回転モータ
- 13 取込み手段
- 14 取込みタイミング設定部
- 15 取込み部
- 16 取込みタイミング記憶部
- 17 取込みタイミング読出し部
- 20 フィルタ手段
- 21 フィルタ条件記憶部
- 22 フィルタ条件読出し部
- 23 フィルタ部
- 24 投影値ストック手段
- 30 ベルトコンベア
- 31 位置検出部
- 32 アナログデジタル変換器
- 33 遅延機構
- 40 ねじり移送器
- 41 ローラ
- 42 ねじれ治具
- 43 もどり防止治具
- 50 ケース
- 50a 平面
- 51 保持部
- 52 ガイド

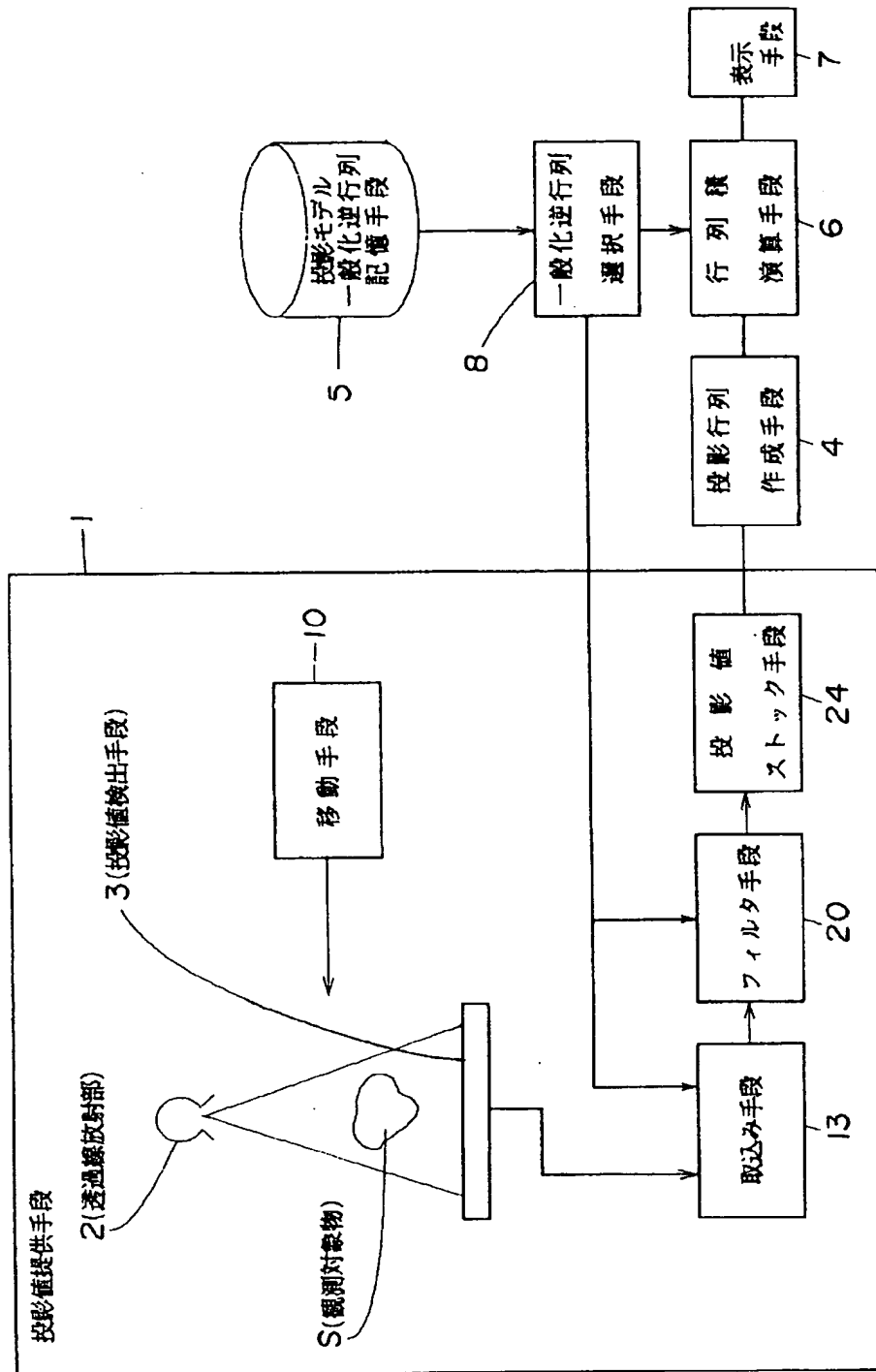
【図11】



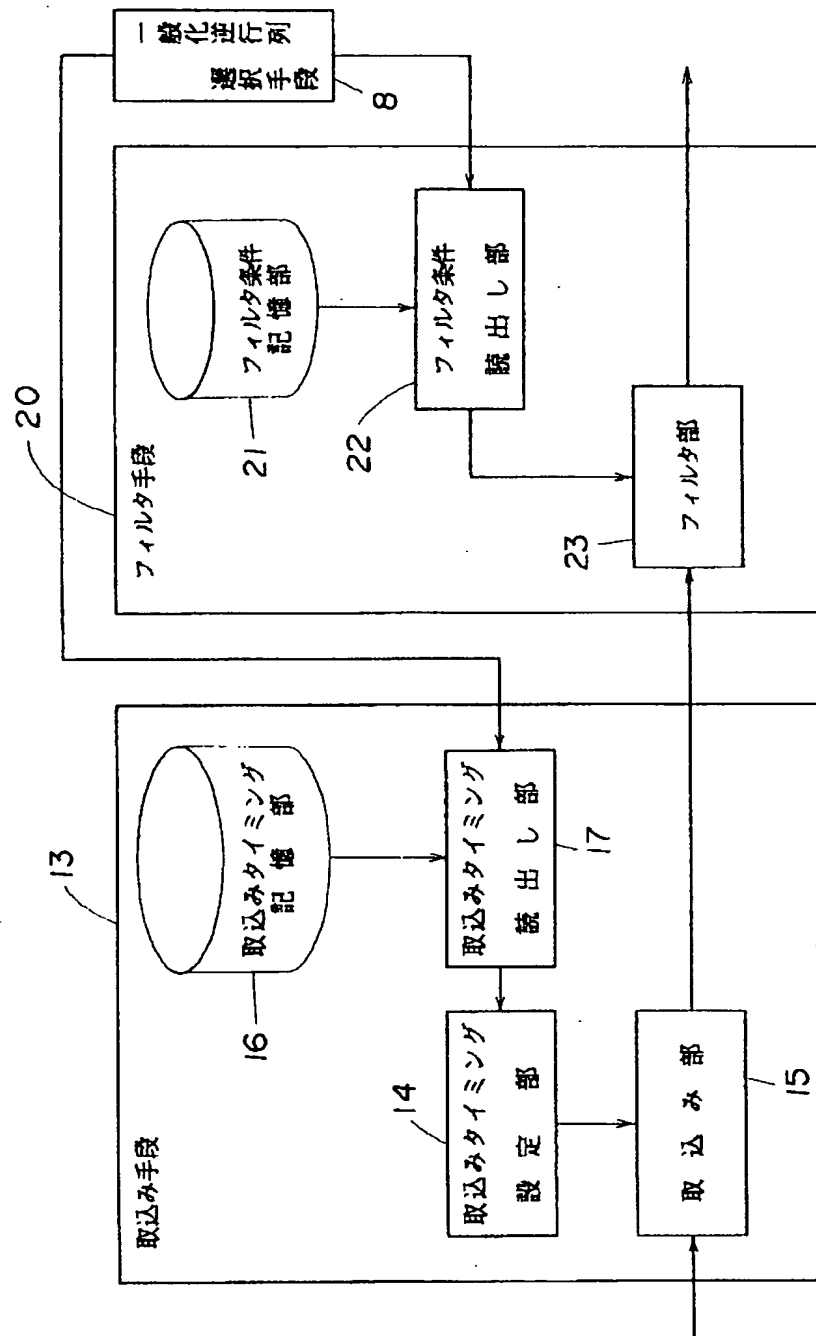
【図12】



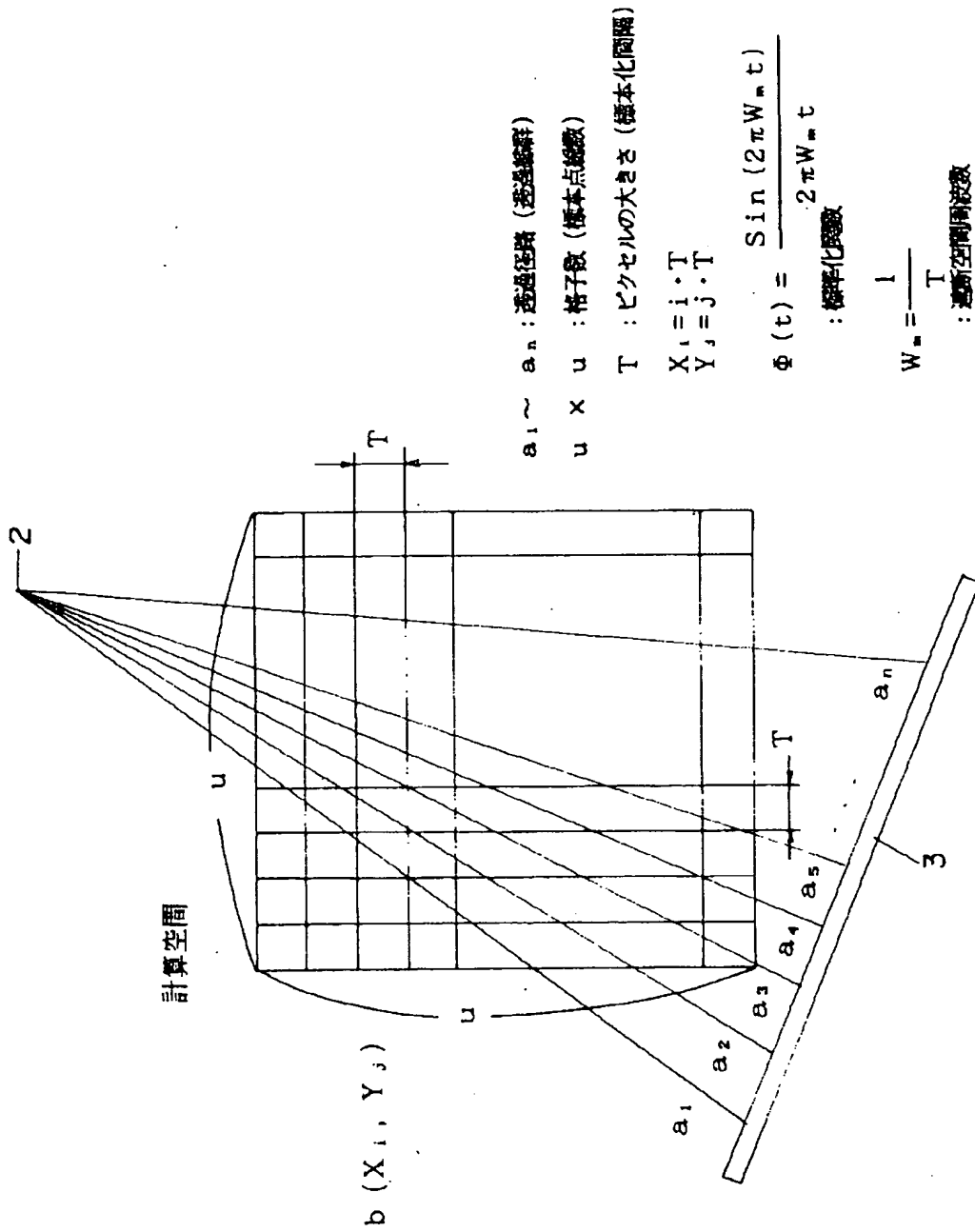
【図1】



【図2】

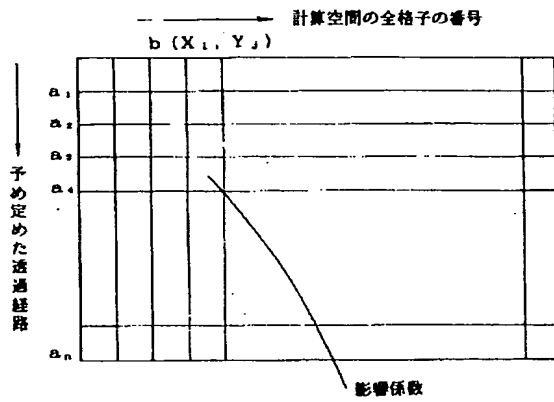


【図3】

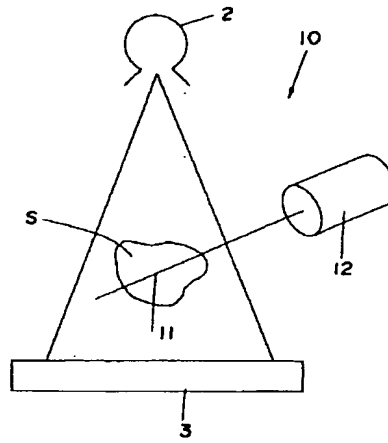


【図4】

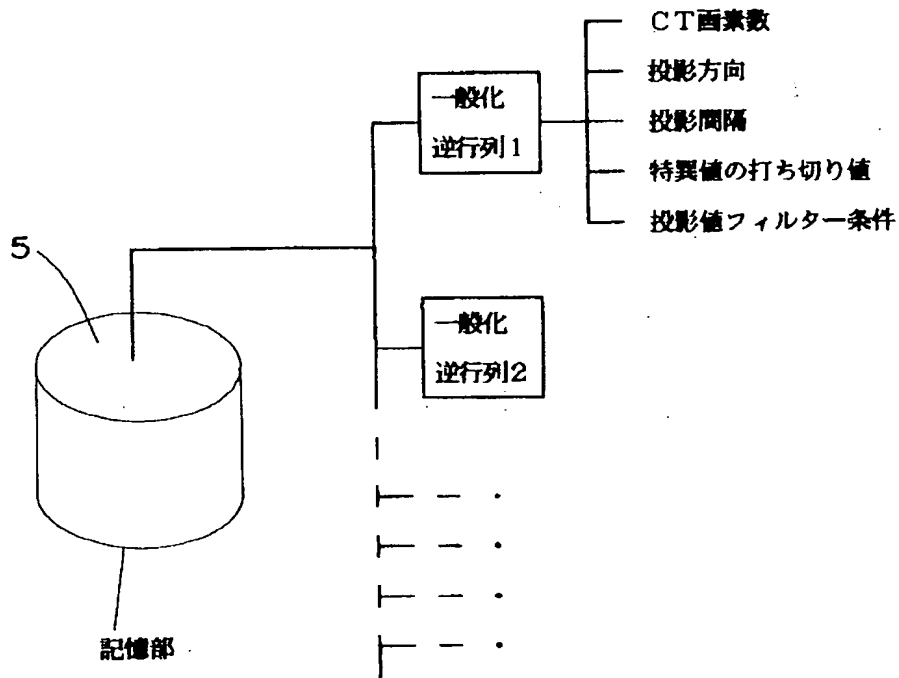
投影モデル行列



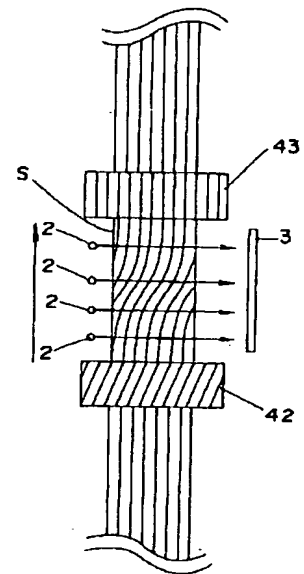
【図7】



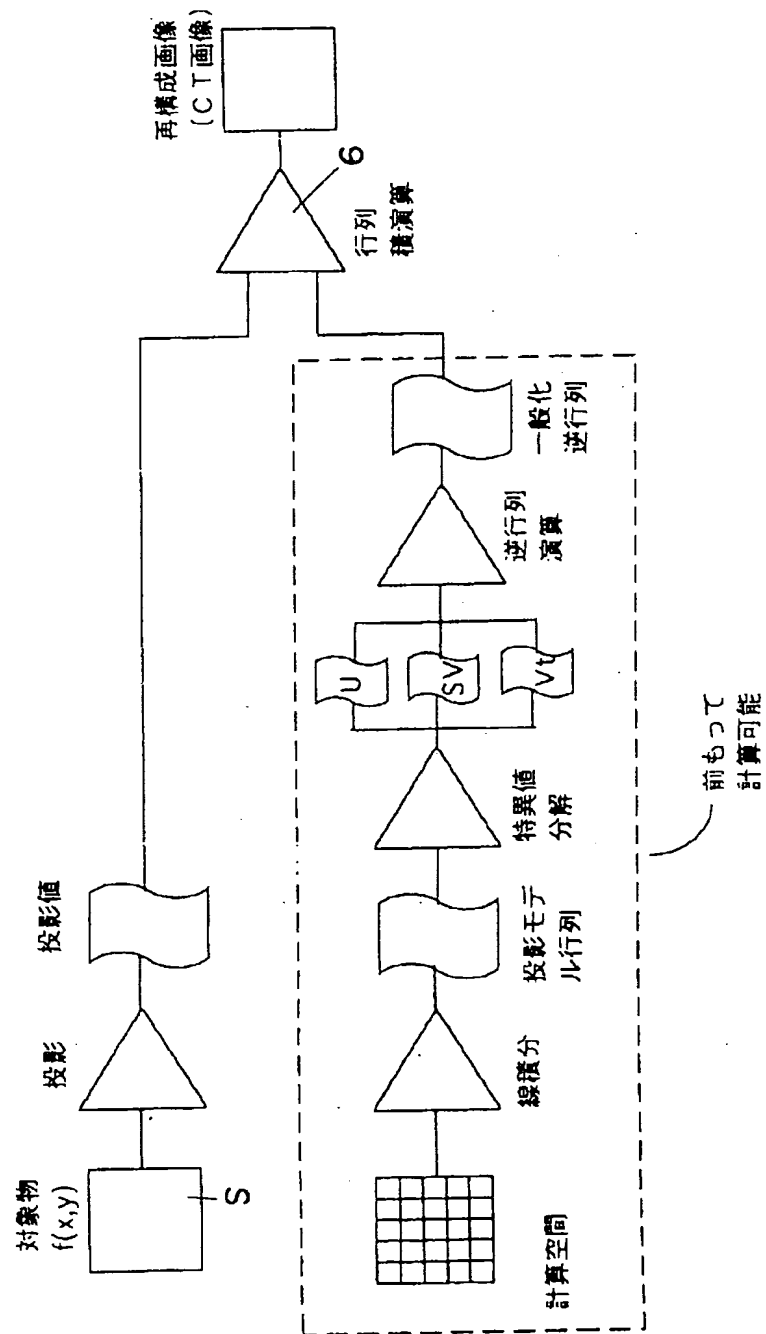
【図6】



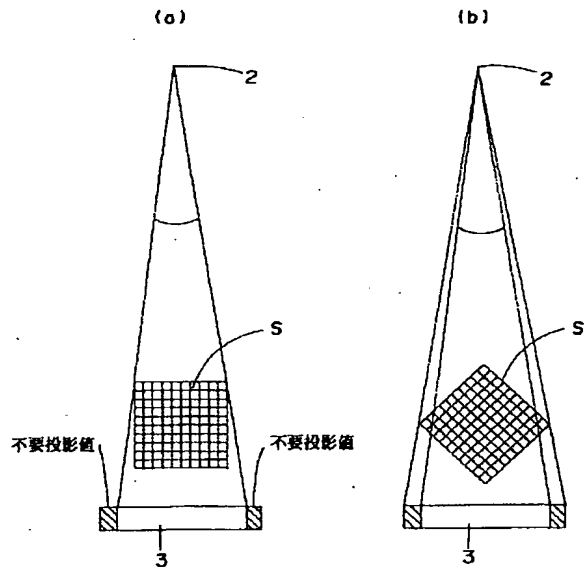
【図13】



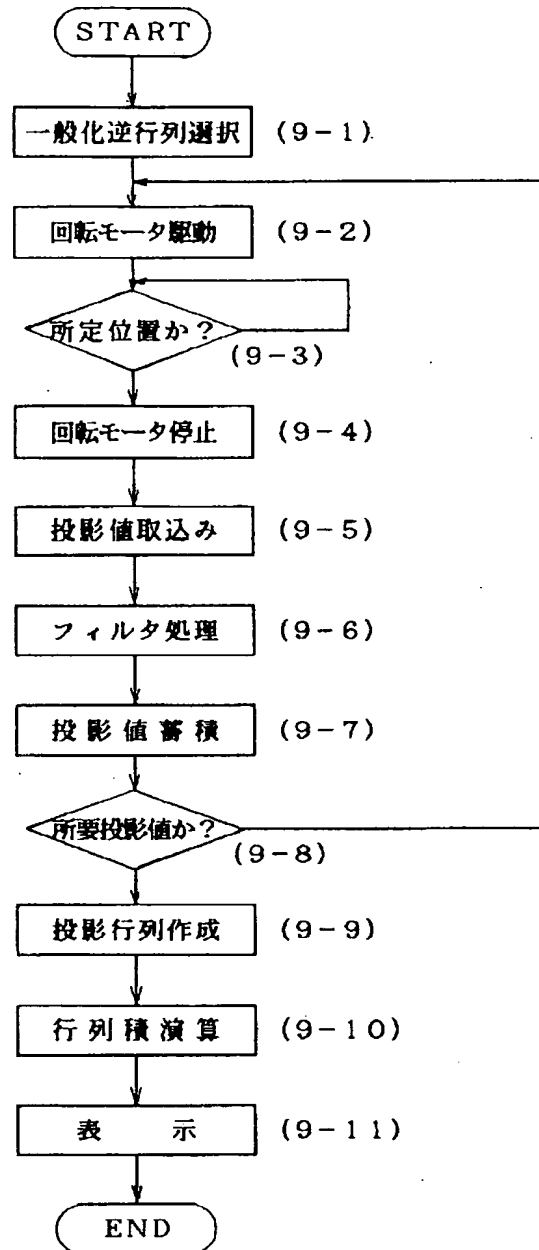
【図5】



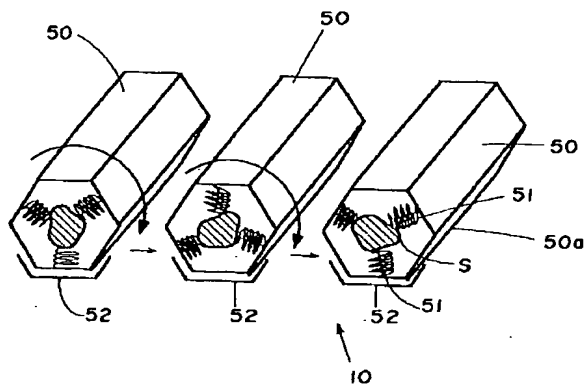
【図8】



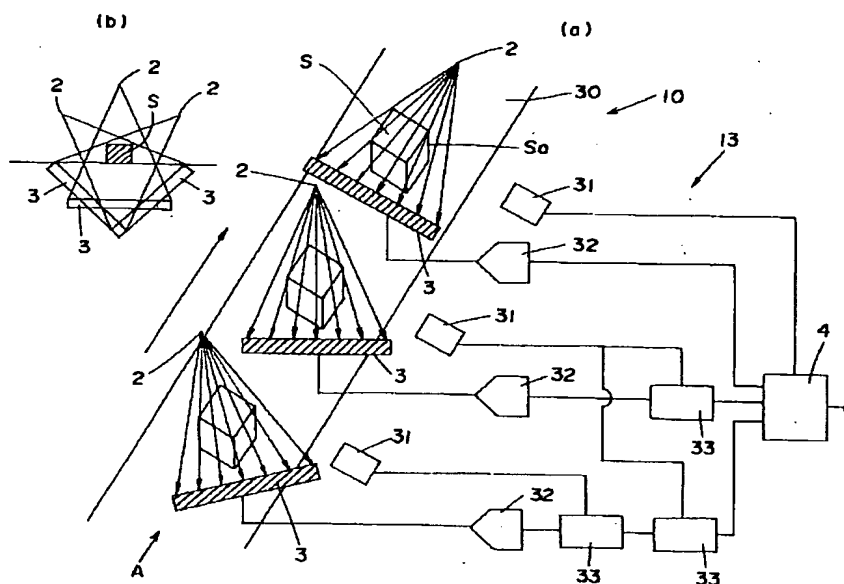
【図9】



【図14】



【図10】



【手續補正書】

【提出日】平成8年3月19日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図10

【補正方法】変更

【補正内容】

【図10】 本発明の第二の実施の形態に係るCT装置を示す要部図(a)及びそのA視正面図(b)である。

フロントページの続き

(72)発明者 藤澤 充
岩手県盛岡市飯岡新田3地割35番2 岩手
県工業技術センター内

(72)発明者 熊谷 隆美
岩手県盛岡市飯岡新田3地割35番2 岩手
県工業技術センター内

(72)発明者 長谷川 辰雄
岩手県盛岡市飯岡新田3地割35番2 岩手
県工業技術センター内

(72)発明者 田山 典男
岩手県盛岡市北松園4-5-3